

ANALISIS PENGUJIAN POROSITAS TERHADAP HASIL *POST CURING* KOMPOSIT KAMPAS REM

Herru Santosa Budiono¹, Eko Surojo², Nurul Muhyat³, Ikhwan Taufik⁴
^{1,4}Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Tidar
^{2,3}Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret
Email korespondensi : herru.santosa@untidar.ac.id

ABSTRAK

Bahan pembuatan kampas rem biasanya terbuat dari bahan *asbestos*, namun bahan tersebut memiliki banyak efek negatif terutama untuk kesehatan. Karena itu dikembangkan sebuah material yang ramah lingkungan dan juga memenuhi syarat untuk bahan kampas rem. Penggunaan material alam yaitu serat *cantula* yang dipadukan dengan *phenolic resin* dan juga bahan lainnya menghasilkan sebuah komposit kampas rem yang tidak kalah kuat dan juga ramah lingkungan. Bahan *phenolic resin* akan menghasilkan gas *ammonia* ketika bahan itu terkena panas. Gas *ammonia* yang terbentuk didalam material dapat mengakibatkan *internal defect* yang dapat menurunkan kekuatan material. Untuk itu dilakukan *treatment* tambahan untuk menghilangkan gas *ammonia*. *Post curing* adalah sebuah *treatment* yang berfungsi untuk meningkatkan kekuatan dari material, dan juga digunakan untuk membuang gas *ammonia* yang terbentuk. Spesimen uji dibuat dengan memvariasikan lama proses *post curing*. Pengujian bending, foto makro dan SEM sudah dilakukan pada penelitian sebelumnya untuk mengetahui efek dari *post curing* pada kekuatan material. Pengujian porositas dilakukan untuk menunjang kesimpulan dari penelitian sebelumnya. Hasilnya menunjukkan bahwa *post curing* memberikan pengaruh pada pembentukan porositas didalam material komposit.

Kata kunci: *post curing*, *phenolic resin*, komposit, *internal defect*, porositas

ABSTRACT

The material for friction brake is usually used asbestos material, but this material has many negative effects especially for health. Therefore, a development of materials that are environmentally friendly and also qualified for friction brake has been developed. The cantula fiber combined with phenolic resins and other materials created a composite friction brake that is strong and also environmentally friendly. Phenolic resin material produce ammonia gas when the material is exposed to heat. Ammonia gas was formed in the material causes internal defects. Internal defect can reduce the strength of the material. For this reason, additional treatment is carried out to remove ammonia gas. Post curing is a treatment that functions to increase the strength of the material, and is also used to remove ammonia gas. The test specimens were made by varying the length of the post curing process. Bending tests, macro photos and SEM have been carried out in previous studies to determine the effect of post curing on the strength of the material. Porosity testing is carried out to support the conclusions of previous studies. The results show that post curing has an effect on the formation of porosity in the composite material.

Keyword: *post curing*, *phenolic resin*, composite, *internal defect*, porosity

Pendahuluan

Sistem pengereman merupakan salah satu komponen keselamatan pada berbagai kendaraan [1], system pengereman yang baik menunjang nilai keselamatan dari kendaraan tersebut. Salah satu komponen system pengereman adalah kampas rem, kampas rem berfungsi sebagai komponen yang memperlambat laju kendaraan dengan mekanisme gesekan [2]. Kampas rem harus memenuhi beberapa kriteria diantaranya, ketahanan aus yang baik, dan kestabilan koefisien gesek yang tinggi [3]. Untuk memenuhi kriteria tersebut tidak bisa hanya dengan satu bahan dan hanya bisa jika menggabungkan beberapa material [4]. Komposit kampas rem tersusun dari banyak bahan. Bahan-bahan yang digunakan pada komposit kampas rem mempengaruhi karakteristik dari kampas rem tersebut. *Phenolic resin* merupakan bahan yang biasa digunakan didalam proses pembuatan kampas rem.

Umumnya bahan kampas rem yang terbuat dari komposit terdiri tiga bahan yaitu bahan penguat, bahan pengisi dan bahan bahan pengikat. Jenis bahan untuk penguat adalah berupa serat yang diklasifikasikan menjadi dua yaitu serat *asbestos* dan serat *non-asbestos*. Serat *asbestos* (serat buatan) yaitu nilon, Al, carbon, fiber glass, rock wool, dan Cu-Zn. Kemudian serat *non-asbestos* (serat alam) yaitu bahan yang diperoleh dari alam dan bersifat alami yaitu bonggol jagung, rami, cantula, sabut kelapa, bambu, kenaf dan masih banyak lagi [5].

Serat alam memiliki kekuatan mekanik yang tinggi seperti serat cantula sangat banyak tersedia di alam. Selain itu serat cantula

mempunyai beberapa kelebihan lain seperti ringan, kekuatan mekanik yang relative baik, dan juga *renewable* [6].

Bahan pengisi (*filler*) memiliki peran untuk mereduksi berat, biaya produksi dan menambah fleksibilitas bentuk komposit. Beberapa bahan pengisi dapat berupa logam, keramik, bahan paduan, bahan organik dan anorganik [7]. Bahan pengisi yang tergolong organik antara lain cashew nut shell (kulit kacang), ruber crumb (remah karet), dan juga dust. Kemudian bahan pengisi anorganik misalnya MgO, CaCO₃, *vermiculite*, BaSO₄, dan Ca(OH)₂. BaSO₄ dan CaCO₃ merupakan bahan yang sering digunakan sebagai pengisi untuk komposit kampas rem [8].

Dalam pembuatan komposit kampas rem berbasis *phenolic resin* umumnya menghasilkan gas ammonia pada proses *post curing* akibat dari reaksi antara phenolic resin dan hexamethylenetetramine (HMTA) [9]. Terbentuknya gas ammonia dapat menyebabkan porositas pada produk hasil *molding* sehingga dapat mengurangi kekuatan produk, maka dari itu gas ammonia perlu hilangkan. Proses pengurangan ammonia dengan cara yang sederhana, yakni dengan meningkatkan laju difusi [10]. Laju difusi pada phenolic resin dipengaruhi oleh temperature atau laju pemanasan, meningkatnya temperature akan mempercepat laju difusi yang disebut dengan proses *post curing*. Maka perlu diteliti parameter proses *post curing* yang tepat agar tidak terbentuk gas ammonia pada material, sehingga kekuatan material dapat mencapai maksimal.

Metodologi

Bahan-bahan yang digunakan dalam proses pembuatan komposit kampas rem ini meliputi Serat cantula (2,56%), Phenolic Resin (15,79%), fly ash (4,24%), CaCO₃ (40,48%), NBR (2,77%), Grafit (30,68%), cashew (3,47%). Sebelum dilakukan pencetakan komposit kampas rem, serat direndam dalam larutan *aquades* dan NaOH dengan kadar NaOH 5% selama 4 jam kemudian setelah itu dicuci dan dibersihkan dengan air. Proses selanjutnya adalah pengurangan kadar kelembaban serat dengan cara dijemur tanpa terkena cahaya matahari secara langsung agar tidak terjadi degradasi pada serat, kemudian serat dioven dengan temperatur 70° C selama 10 jam. Pengovenan serat *cantula* bertujuan untuk menghilangkan tegangan sisa dalam serat. Setelah kering serat *cantula* dipotong hingga 2 mm.

Setelah serat *cantula* sudah siap, langkah selanjutnya mencampur bahan bahan NBR, *Fly ash*, Grafit, *Cashew*, *Phenolic resin*, dan CaCO₃ sesuai takaran dengan menggunakan *blender* sampai homogen, setelah homogen ditambahkan serat *cantula* kemudian dicampur lagi dengan *blender*.

Dalam proses pembuatan spesimen terdapat beberapa tahapan untuk mendapatkan spesimen yang siap dilakukan pengujian. Tahapan tersebut adalah tahap pembentukan (*pre-forming*), tahap *press* panas (*hot molding*) dan tahap *post curing*.

Pada tahapan pembentukan atau *pre-forming*, bahan yang sudah tercampur secara homogen dimasukkan kedalam cetakan *press* dingin kemudian dilakukan pengepresan dingin dengan tekanan 50 bar pada dongkrak selama 10 menit dengan mesin *press*. Setelah itu

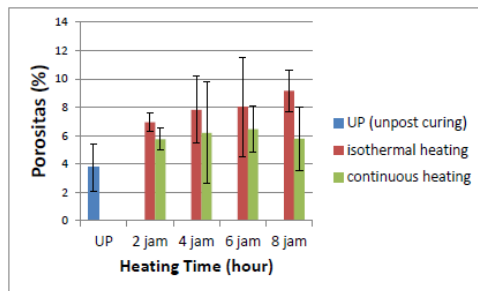
spesimen dikeluarkan dari cetakan *press* dingin dan selanjutnya dimasukkan kedalam cetakan *press* panas dengan temperatur cetakan 160°C. Bahan komposit yang berada dalam cetakan dipres dengan tekanan 50 bar selama 10 menit, setelah itu spesimen dikeluarkan dari cetakan.

Tahapan selanjutnya adalah *post curing*, pada tahapan ini spesimen yang sudah jadi dimasukkan kedalam oven khusus yang sudah diatur laju pemanasan yaitu 1°C tiap 2 menit selama 6 jam, 1°C tiap 2,6 menit selama 8 jam, dan 1°C tiap 3,3 menit selama 10 jam hingga mencapai suhu 180°C dan pendinginan 1°C tiap 30 detik sampai dengan temperatur kamar.

Metode pemanasan	variasi
<i>Continuous heating</i>	Spesimen secara perlahan dipanaskan dari suhu 140°C ke 180°C dalam waktu : 2, 4, 6, dan 8 jam
<i>Isothermal heating</i>	Sepesimen secara cepat dipanaskan dari suhu 140°C ke 180°C dalam 5 menit dan kemudian ditahan pada suhu 180°C selama : 2, 4, 6, dan 8 jam

Pengujian porositas dilakukan pada specimen hasil dari pengujian bending untuk mengetahui hubungan antara laju pemanasan dan pembentukan *internal defect* akibat dari terbentuknya gas ammonia didalam spesimen. Metode pengujian porositas mengikuti standar ASTM 373-88.

Hasil dan Pembahasan



Gambar. 1 Hasil pengujian porositas pada spesimen *post curing*

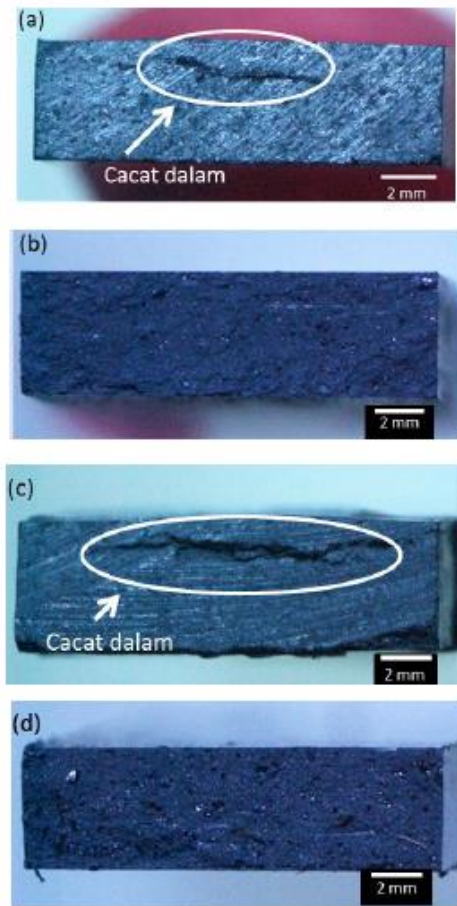
Hasil di atas menunjukkan hasil dari pengujian porositas terhadap spesimen hasil uji bending *isothermal heating* memiliki *internal defect* paling banyak dibandingkan dengan variasi lainnya. Semakin banyak *internal defect* maka akan menurunkan kekuatan lentur pada material [11]. Hal ini menjelaskan pengaruh laju pemanasan terhadap kekuatan lentur salah satunya berkaitan dengan terbentuknya *internal defect* di dalam bahan komposit. Efek positif dari proses *post curing* pada material akan terlihat ketika digunakan dalam suhu yang tinggi, beberapa diantaranya adalah kesetabilan dimensi pada saat suhu yang tinggi [12]. Hasil di atas juga sesuai dengan hasil dari pengujian bending yang dilakukan sebelumnya. Pada setiap variasi *heating time* yang sama metode *isothermal heating* menghasilkan nilai kekuatan lentur yang lebih rendah dibandingkan dengan metode *continuous heating*. Meskipun variasi *heating time* sama, laju pemanasan metode *isothermal heating* lebih cepat dibandingkan dengan metode *continuous heating*. Semua variasi *heating time* metode *isothermal heating* dari 140°C ke 180°C mengalami laju pemanasan (180-140)/(5/60) °C/jam. Ada pengaruh waktu pada proses *post curing*

terhadap sifat material [13]. Metode pemanasan *isothermal heating* menurunkan kekuatan karena terbentuknya *internal defect* yang lebih besar. Hal tersebut dikarenakan proses polimerisasi terjadi dengan cepat dan menyebabkan gas ammonia yang terjebak menyebabkan *internal defect*. Polimerisasi meningkat dengan cepat seiring dengan meningkatnya laju pemanasan [14].

Pengaruh laju pemanasan terhadap kekuatan lentur komposit berkaitan dengan terbentuknya *internal defect* ketika proses *post curing*. Gambar 2 memperlihatkan adanya *internal defect* yang mendukung dugaan tersebut. Pengamatan foto makro dilakukan pada spesimen terbaik dan juga terendah untuk mengetahui perbedaan hasil dari metode yang digunakan. Spesimen variasi 2 jam metode *continuous heating* menunjukkan adanya *internal defect*, sedangkan spesimen variasi waktu 6 jam tidak terlihat adanya *internal defect*. Spesimen variasi 2 jam metode *isothermal heating* mengalami *internal defect* yang lebih besar dibandingkan dengan *internal defect* pada spesimen variasi 2 jam metode *continuous heating*. *Internal defect* terjadi akibat dari gas ammonia yang terbentuk dan terjebak di dalam spesimen pada saat proses *post curing*.

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa laju pemanasan berpengaruh terhadap proses keluarnya gas ammonia dari komposit. Semakin tinggi laju pemanasan menyebabkan semakin sulitnya gas ammonia keluar dari bahan komposit sehingga mendorong terbentuknya *internal defect* yang semakin besar. Spesimen *unpost curing* tidak terdapat *internal defect*

seperti pada spesimen metode *continuous heating* dan *isothermal heating*.



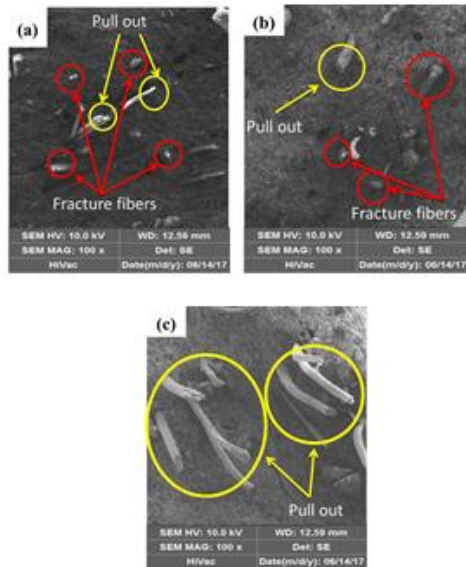
Gambar 2. Permukaan patahan spesimen, (a) spesimen metode *continuous heating* variasi 2 jam, (b) spesimen metode *continuous heating* variasi waktu 6 jam, (c) spesimen metode *isothermal heating* variasi waktu 2 jam, (d) Spesimen *un-post curing*

Dari fenomena-fenomena yang telah dipaparkan di atas dapat dijelaskan pengaruh dari metode post curing terhadap pembentukan internal defect yang menyebabkan kekuatan lentur material komposit kampas rem. Pada pengujian bending spesimen yang menggunakan metode *continuous heating* variasi waktu 2 jam memiliki kekuatan lentur yang lebih tinggi dari pada metode *isothermal heating* variasi waktu 2 jam dikarenakan internal defect yang terjadi akibat dari timbulnya gas ammonia yang terbentuk pada saat

proses post curing lebih kecil. Kecilnya internal defect dikarenakan gas ammonia sebagian besar berhasil keluar akibat dari laju pemanasan yang lambat, sedangkan pada spesimen *isothermal heating* internal defect yang terjadi lebih besar karena gas ammonia yang terbentuk terjebak di dalam spesimen akibat dari pemanasan yang cepat. Pemanasan yang cepat menyebabkan polimerisasi terjadi dengan cepat yang menyebabkan gas terjebak di dalam spesimen. Ada kemungkinan lain yang menjadi penyebab menurunnya kekuatan lentur pada material metode *isothermal heating*. Pemanasan yang terjadi cepat mengakibatkan bagian permukaan dari spesimen mengalami penyusutan sementara bagian dalam spesimen baru mulai terkonduksi panas, perbedaan itulah yang menyebabkan terjadinya porositas pada bagian dalam spesimen sehingga menyebabkan menurunnya kekuatan pada material komposit.

Hasil dari pengujian lentur pada spesimen *unpost curing* menunjukkan kekuatan lentur yang hampir sama dengan spesimen yang mengalami proses post curing menggunakan metode *continuous heating*, hal tersebut seolah menunjukkan proses post curing tidak memberikan efek pada kekuatan lentur spesimen. Namun efek dari post curing akan terlihat ketika material yang mengalami proses post curing digunakan pada suhu yang tinggi. Terjebaknya gas ammonia pada spesimen dibuktikan oleh foto makro. Pada foto makro spesimen *unpost curing* tidak terlihat adanya internal defect sedangkan pada foto makro spesimen *continuous heating* terlihat internal defect yang terjadi lebih besar dari pada spesimen *continuous heating*. Faktor lain yang

mempengaruhi kekuatan lentur spesimen adalah bonding antara serat dan juga matriks.



Gambar 3. (a) Foto SEM dari spesimen metode continuous heating variasi waktu 2 jam 100x zoom, (b) Foto SEM dari spesimen metode isothermal heating variasi waktu 2 jam 100x zoom, (c) Foto SEM dari spesimen unpost curing 100x zoom

Gambar 3. Menunjukkan patahan yang terjadi pada spesimen yang mengalami proses *post curing* bervariasi antara *fracture fibers* dan juga *pull out*. Fenomena *fracture fiber* terjadi akibat bonding yang baik antara serat dan juga matriks. Sedangkan untuk spesimen *unpost curing* patahan yang terjadi mayoritas adalah *pull out*, hal ini terjadi akibat dari *bonding* antara serat dan juga matriks tidak terjadi dengan baik.

Kesimpulan

Dari hasil pengujian porositas yang dilakukan menguatkan hasil dari penelitian sebelumnya yang menyatakan bahwa proses *post curing* mempengaruhi kekuatan dari material. Kekuatan dari spesimen isothermal heating menurun akibat adanya internal defect yang terjadi akibat laju pemanasan yang cepat. Semakin cepat laju pemanasan maka

semakin besar *internal defect* yang terjadi.

References

- [1] U. D. Idris, V. S. Aigbodion, I. J. Abubakar, and C. I. Nwoye, "Eco-friendly asbestos free brake-pad: Using banana peels," J. King Saud Univ. - Eng. Sci., vol. 27, no. 2, pp. 185–192, 2015.
- [2] K. K. Ikpambese, D. T. Gundu, and L. T. Tuleun, "Evaluation of palm kernel fibers (PKFs) for production of asbestos-free automotive brake pads," J. King Saud Univ. - Eng. Sci., vol. 28, no. 1, pp. 110–118, 2016.
- [3] J. H. Gweon, B. S. Joo, and H. Jang, "The effect of short glass fiber dispersion on the friction and vibration of brake friction materials," Wear, vol. 362–363, pp. 61–67, 2016.
- [4] C. Menapace, M. Leonardi, G. Perricone, M. Bortolotti, G. Straffelini, and S. Gialanella, "Pin-on-disc study of brake friction materials with ball-milled nanostructured components," Mater. Des., vol. 115, pp. 287–298, 2017.
- [5] Liu, Y., Fan, Z., Ma, H., Tan, Y., & Qiao, J. (2006). Application of nano powdered rubber in friction materials. Wear, 261(2), 225–229. <https://doi.org/10.1016/j.wear.2005.10.011>
- [6] Schwartz, M.M. 1984. Composite Material Handbook, Mc Graw Hill Inc, Ranogajeg, J, 1999.
- [7] Peter J. Blau. (2001). Compositions , Functions , and Testing of Friction Brake Materials and Their Additives, (September).
- [8] Louis Pilato. (2010). Resins, Phenolic Century, A. 598 Watchung Road Bound Brook NJ 08805 USA. Retrieved from pilato-consulting@att.net

- [9] A. Izumi, Y. Shudo, T. Nakao, and M. Shibayama, "Cross-link inhomogeneity in phenolic resins at the initial stage of curing studied by ¹H-pulse NMR spectroscopy and complementary SAXS/WAXS and SANS/WANS with a solvent-swelling technique," *Polym. (United Kingdom)*, vol. 103, pp. 152–162, 2016.
- [10] Morrison T. N. (2004). Practical Guidelines for the Efficient Postbaking of Molded Phenolic. Novelty : Wisconsin
- [11] Atiqullah, M. M. (2007) 'Effect of Defects on Mechanical Properties of Composites : Undergraduate Research on Materials'.
- [12] Atiqullah, M. M. (2007) 'Effect of Defects on Mechanical Properties of Composites : Undergraduate Research on Materials'.
- [13] Stark, W. et al. (2009) 'Online monitoring of thermoset post-curing by dynamic mechanical thermal analysis DMTA', *Polymer Testing*. Elsevier Ltd, 28(6), pp. 561–566. doi: 10.1016/j.polymertesting.2009.02.005.
- [14] Kumar, D. S. et al. (2015) 'Effect of post-curing on thermal and mechanical behavior of GFRP composites', *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 75(1). doi: 10.1088/1757-899X/75/1/012012.